AUS DER MEDIZINISCHEN KLINIK ZU HEIDELBERG.

Lane Medical Library

ÜBER DAS VERHÄLTNIS VON CO_2-AUSSCHEIDUNG ZUR ATEMGRÖSSE BEIM LUNGENEMPHYSEM.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
BEI DER HOHEN MEDIZINISCHEN
FAKULTÄT DER RUPRECHT-KARLS-
UNIVERSITÄT ZU HEIDELBERG

VORGELEGT VON

RUDOLF REINHARDT
AUS HEIDELBERG.

LEIPZIG.
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1912.

AUS DER MEDIZINISCHEN KLINIK ZU HEIDELBERG.

ÜBER DAS VERHÄLTNIS VON CO_2-AUSSCHEIDUNG ZUR ATEMGRÖSSE BEIM LUNGENEMPHYSEM.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
BEI DER HOHEN MEDIZINISCHEN
FAKULTÄT DER RUPRECHT-KARLS-
UNIVERSITÄT ZU HEIDELBERG

VORGELEGT VON

RUDOLF REINHARDT
AUS HEIDELBERG.

LEIPZIG.
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1912.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Heidelberg.

Referent:
Geh.-Rat Krehl.

Dekan:
Geh.-Rat Fleiner.

1912.

Meinen Eltern

in Dankbarkeit

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153311_0179

Aus den Untersuchungen von Siebeck[1]) geht hervor, daß durch manche krankhafte Veränderungen der Lungen der Gasaustausch zwischen Außenluft und Alveolenluft ungünstig beeinflußt wird. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit der Atmung, d. h. der Nutzeffekt des einzelnen Atemzuges geringer. Für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Atmung erscheint es nun wichtig, zu untersuchen, wie sich die Atmung Kranker bei erhöhten Anforderungen verhält.

Es ist bekannt, daß die Atemgröße in der Zeiteinheit dem Gaswechsel des Organismus entsprechend reguliert wird. Aus den Arbeiten von Miescher-Rüsch[2]) sowie von Haldane[3]) und seinen Mitarbeitern geht hervor, daß in der Ruhe bei verschiedenen Einwirkungen, wie Erhöhung und Erniedrigung des Luftdruckes oder bei vermehrtem Kohlensäuregehalt der Einatmungsluft, die Kohlensäurespannung in den Alveolen gleich ist. Daraus wird geschlossen, daß unter diesen Bedingungen die arterielle Kohlensäurespannung, die ja nach der Anschauung fast aller Physiologen der alveolären entspricht, für die Regulation der Atemgröße maßgebend ist. Es können aber auch andere Stoffe im Blute erregend auf das Atemzentrum wirken, z. B. bei körperlicher Arbeit wahrscheinlich Milchsäure. Nach den Untersuchungen von Winter-

1) Deutsches Archiv f. klin. Med. Bd. 102 p. 390, 1911.

2) Arch. f. (Anatomie u.) Physiol. 1885 p. 355.

3) Journal of physiology Bd. 32 p. 446 ff. und p. 225 ff. (1905), Bd. 37 p. 77 1908.)

stein[1]) ist es wahrscheinlich, daß überhaupt die H-Ionenkonzentration im Blute als Atemreiz anzusehen ist.

Die Untersuchungen der Atmungsregulation beim Menschen beruhen zunächst auf Bestimmungen der alveolären Gasspannung. Die gebräuchlichen Methoden der Alveolenluftbestimmung, vor allem die von Zuntz-Loewy und von Haldane, sind zwar für normale Verhältnisse genügend begründet; bei kranken Lungen, gerade bei dyspnoischer Atmung sind aber, wie Siebeck gezeigt hat, die Bestimmungen unsicher und vielfach nicht zu verwerten. Es ist möglich, daß die von Plesch[2]) angegebene Methode in weiteren Grenzen anwendbar ist. Immerhin ist es vorläufig nicht möglich, nach einfachen Versuchen bei dyspnoischen Kranken die Gasspannung im arteriellen Blute sicher zu beurteilen, um daraus den Mechanismus der Atmungsregulation zu verstehen.

Soll nun das Verhalten der Atmung bei erhöhten Anforderungen geprüft werden, so muß man sich auf die Beobachtung des Endeffektes der Regulation, der Atemgröße und der O_2-Aufnahme bzw. CO_2-Abgabe beschränken.

Von den Bedingungen, durch die die Anforderungen an die Atmung erhöht werden, könnte man zunächst an meßbare körperliche Arbeit, z. B. an einem Ergostaten denken. Aber die Ausnützung der Muskelkraft unterliegt zu großen individuellen Schwankungen, die Funktion der Kreislaufsorgane spielt eine zu große Rolle, als daß auf diese Weise ein sicherer Vergleich zwischen Gesunden und Kranken möglich wäre.

Am zweckmäßigsten und einfachsten erschien es, den CO_2-Gehalt der Inspirationsluft zu erhöhen. Dadurch wird ja die Ausscheidung der Kohlensäure erschwert. Herr Dr. Siebeck forderte mich daher auf, die Frage zu untersuchen: wie verhält sich die Atemgröße und die CO_2-Ausscheidung in Ruhe unbeeinflußt, und bei Einatmung CO_2-haltiger Luft bei Gesunden und bei Kranken? Ich habe die Untersuchung unter Anleitung und mit Beihilfe des Herrn Dr. Siebeck ausgeführt und ich möchte nicht versäumen, auch an dieser Stelle ihm nochmals für seine freundlichen Anweisungen und Unterstützungen zu danken.

Versuche über die Wirkung kohlensäurehaltiger Inspirations-

1) Pflüger's Archiv Bd. 138 p. 167 (1910).
2) Zeitschr. f. exper. Path. u. Therap. Bd. 6 p. 380, 1909.

luft wurden von Loewy[1]) mit der Cohnstein-Zuntz'schen Methode ausgeführt. Aus dem Verhältnisse der Atemgröße zu der berechneten Kohlensäurespannung in den Alveolen resp. im arteriellen Blute schließt Loewy auf die Erregbarkeit des Atemzentrums. Eine derartige Verwertung der Versuche ist bei Kranken aus dem besprochenen Grunde aber nicht möglich.

Obgleich nun schon Versuche an Gesunden (von Loewy, Speck[1]) u. a.) vorliegen, war es doch nötig, mit der eigenen Versuchsanordnung auch Normale zu untersuchen, damit ein sicherer Vergleich möglich ist. Außer Normalen habe ich bis jetzt Emphysematiker untersucht, und zwar durchweg Kranke mit schweren Veränderungen. Die meisten litten an diffuser Bronchitis, bei den meisten bestand in Ruhe oder bei leichter körperlicher Anstrengung Dyspnoe. Auf die Entstehung des Emphysems gehe ich nicht ein, da es sich ja hier nur um die Untersuchung des Zustandsbildes handelt. Untersuchungen an Herzkranken sind im Gange und sollen später mitgeteilt werden.

Zu den Versuchen wurden die Atemgröße (in der Zeiteinheit), die Atemfrequenz, die Größe des einzelnen Atemzuges (Atemvolumen), der Kohlensäuregehalt der In- und Exspirationsluft und die Vitalkapazität bestimmt.

Die Versuchsanordnung ist folgende: Der zu Untersuchende sitzt bequem auf einem Stuhl. Die Nase ist gut mit Watte verstopft. Geatmet wird durch ein Mundstück, das aus einer knetbaren Masse hergestellt und bequem zwischen Zahnreihe und Lippen angepaßt ist. Die Trennung von Inspirations- und Exspirationsluft geschieht durch ein Zuntz'sches Ventil mit feinen Glimmerblättchen, die einen nur recht geringen Widerstand bilden. Die Zuleitung der Inspirationsluft erfolgt durch eine dicke (3 cm Durchmesser) beinahe 9 m lange Glasröhre und zwar von der oberen, stets etwas geöffneten Ventilationsvorrichtung des Fensters aus. Auf diese Weise wird stets frische, ziemlich konstante und fast CO_2-freie Einatmungsluft erhalten. Die Exspirationsluft wird zu einer Gasuhr geleitet. Die Leitung kann durch Schiebervorrichtung, eine Vorrichtung, wie sie von Siebeck[3]) zur Alveolenluftbestimmung nach Haldane benutzt wurde, unterbrochen werden, wodurch die Ablesung der veratmeten Luftlumina bedeutend erleichtert wird. An einer Stelle der Zuleitung (ca. 1 m vor dem Ventil) und ebenso zwischen Ventil und Gasuhr ist je ein ca. 2 l fassender zylindrischer Glasbehälter

---

1) Pflüger's Arch. Bd. 47 p. 601, 1910.

2) Speck, Physiol. d. menschl. Atmens, Leipzig 1892.

3) Vgl. Morawitz-Siebeck, Deutsches Archiv f. klin. Med. Bd. 97 p. 201, 1909.

zur Mischung der Luft eingeschaltet. Der eine, durch den die Exspirationsluft geht, steht außerdem noch in einem Wasserbad, damit die ausgeatmete Luft auf Zimmertemperatur abgekühlt wird. Aus dem Luftgemisch in den Glasbehältern werden die Luftproben für die Gasanalysen entnommen. Es führt zu diesem Zweck eine kapillare Seitenverbindung zu einem Gasrezipienten, der durch Heben eines mit ihm in Schlauchverbindung stehenden Quecksilberbehälters gefüllt werden kann. Nach der Füllung wird der Schlauch durch eine Klemmschraube komprimiert, das Hg-Gefäß gesenkt, und dann mittels der Schraube die Quecksilbersaugung so reguliert, daß sich der Gasrezipient während eines Einzelversuches von je 3 Minuten gerade mit Luft füllt. Auf diese Weise erhalten wir ein Gemisch aus der gesamten Luftmenge, die in den 3 Minuten ein- resp. ausgeatmet wird. Die Gasanalyse erfolgte dann in dem Analysenapparat von Petterson-Haldane.

Bei den CO_2-Versuchen erfolgte die CO_2-Zufuhr aus einer CO_2-Bombe, die mit der Zuleitungsröhre am Fenster in Verbindung stand, so daß innerhalb der 3 m langen Glasröhre und dem 2 l fassenden Glasbehälter die CO_2 sich gut mit der Luft mischen konnte. Die Stärke des CO_2-Stromes ist mittels Reduzierventil nach Belieben zu regulieren. Die CO_2 geht außerdem durch eine kleine Wasserflasche, so daß man aus der Stärke der aufsteigenden Luftblasen die ungefähre CO_2-Zufuhr schätzen kann.

Der Verlauf eines Versuches ist nun folgender: In der Zeit, bis alles vorbereitet ist, sitzt der zu Untersuchende ruhig da; es dauert dies ca. $^1/_4$ Stunde. Man darf annehmen, daß in dieser Zeit die Atmung, falls sie durch irgendwelche körperliche Anstrengung etwas verstärkt war, wieder zur Ruhe gekommen ist. Gewöhnlich folgte dann die Messung der Vitalkapazität am Spirometer, und dann begann der eigentliche Versuch: zuerst eine Vorperiode, bis sich der zu Untersuchende an den Apparat gewöhnt hatte, und bis die Atemgröße pro Minute konstant blieb (Dauer 5—12 Min.). — Dann folgten die Einzelversuche alle von je 3′ Dauer — zwischen den Versuchen nur Unterbrechung, wenn es durch Husten oder sonst etwas nötig war. Nach 2—3 unbeeinflußten Atmungsversuchen erfolgten 3—4 CO_2-Versuche, wobei zwischen jedem Einzelversuch die CO_2-Zufuhr gesteigert wurde. Nach jeder Steigerung der CO_2-Zufuhr muß man einige Minuten (2—3′) warten, bis die Atmung konstant bleibt. Diese Zeit ist aber auch zur Ablesung, Umschaltung der Gasrezipienten usw. nötig. — Bei mehreren Versuchen wurde auch noch nachgesehen, wie lange es dauert, bis die Atmung nach der CO_2-Abstellung wieder zur ursprünglichen Größe zurückkehrte. Die Gesamtdauer des Versuches am Apparat dauerte ca. 50 Minuten.

Die angegebenen Luftvolumina sind alle auf 37 ° (Körpertemperatur) und 760 mm Hg unter Berücksichtigung der Wasserdampftension berechnet (und zwar ist das 3 Minutenvolumen berechnet und dann durch 3 dividiert).

Sämtliche Versuche sind in der Übersichtstabelle III zusammengestellt. Nach dieser Tabelle habe ich nun aus allen Werten für

die unbeeinflußte Atmung bei Gesunden und Emphysematikern Mittelwerte berechnet: s. Tabelle I.

Tabelle I. Unbeeinflußte Atmung.
(Mittelwerte.)

	Atemgröße (l) pro Min.	Frequenz	Volumen des Atemzuges	CO_2 % d. Exspiration	Abs. CO_2-Ausscheidung in ccm	Vitalkapazität l
(8) Gesunde:	**7,64**	**16**	**0,49**	**3,63**	**280**	**4,14**
Minimum	5,9	12	0,34	3,04	220	2,86
Maximum	9,0	22	0,67	4,24	380	4,86
(6) Emphysematiker:	**11,83**	**23**	**0,54**	**2,82**	**360**	**2,26**
Minimum	10,7	18	0,39	2,53	310	1,45
Maximum	13,8	30	0,62	3,89	390	3,57
Differenz	+4,19	+7	+0,05	−0,81	+80	−1,88

Daraus ergibt sich: die Atemgröße des Emphysematikers ist im Durchschnitt um 4 l pro Minute oder etwa um 50 % größer als beim Normalen. Die Atemfrequenz ist erhöht, die Atmung aber durchaus nicht oberflächlich, der einzelne Atemzug ist vielmehr im Durchschnitt eher etwas tiefer als beim Gesunden. — Während der Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft herabgesetzt ist, ist die CO_2-Ausscheidung pro Minute erhöht, und da wir keinen Anhaltspunkt für die Annahme haben, daß die Bedingungen des Gesamtstoffwechsels verändert sind, ist es möglich, daß die gesteigerte CO_2-Produktion wenigstens zum Teil eine Folge der erschwerten Atmung, der vermehrten Atemarbeit ist. Allerdings ist zu bedenken, daß die Einzelversuche viel zu kurz sind, als daß man aus ihnen sichere Schlüsse auf Stoffwechselvorgänge zu ziehen berechtigt wäre. Jedoch würde diese Annahme mit den Stoffwechseluntersuchungen von Möller[1]), Geppert[2]), Pick[3]) nicht in Widerspruch stehen.

Aus meinen Versuchen ist noch zu erwähnen, daß die Vitalkapazität stark herabgesetzt ist (vgl. auch Bittorf und Forschbach, Siebeck, Bruns u. a.).

Ich möchte nun noch auf die Bedeutung des herabgesetzten Kohlensäuregehaltes der Exspirationsluft hinweisen:

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 14 p. 542, 1878.
2) Charité-Annalen 9, p. 280, 1884.
3) Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 16 p. 21

Bei gleicher bewegter Luftmenge atmet der Emphysematiker weniger Kohlensäure aus als der Gesunde, oder anders ausgedrückt, um die gleiche Kohlensäuremenge auszuatmen, führt der Emphysematiker eine größere Atemexkursion aus. Das zeigt, daß die Atmung qualitativ verändert ist.

Meine Resultate stimmen überein mit den wenigen Versuchen, die wir bei Speck[1]) finden, ferner mit den Angaben von Geppert[2]), der vor allem auch darauf aufmerksam macht, daß die etwas gesteigerte Ventilation des Emphysematikers durch hinzukommende Bronchitis noch bedeutend weiter erhöht wird. — Vor allem aber möchte ich auf eine neue Arbeit von Staehelin und Schütze[3]) hinweisen, die bei ihren spirographischen Messungen an 44 Emphysemkranken — es handelte sich um alle Arten von ganz leichten bis zu ganz schweren Fällen, — als Mittelwert der Atemgröße pro Minute 10,1 l finden (bei einem Minimum von 3,8 l und einem Maximum von 15 l). Sie weisen ebenfalls darauf hin, daß die erhöhte Lüftung durch Vermehrung der Atemzüge bei gleichzeitiger Vertiefung der Atmung zustande kommt.

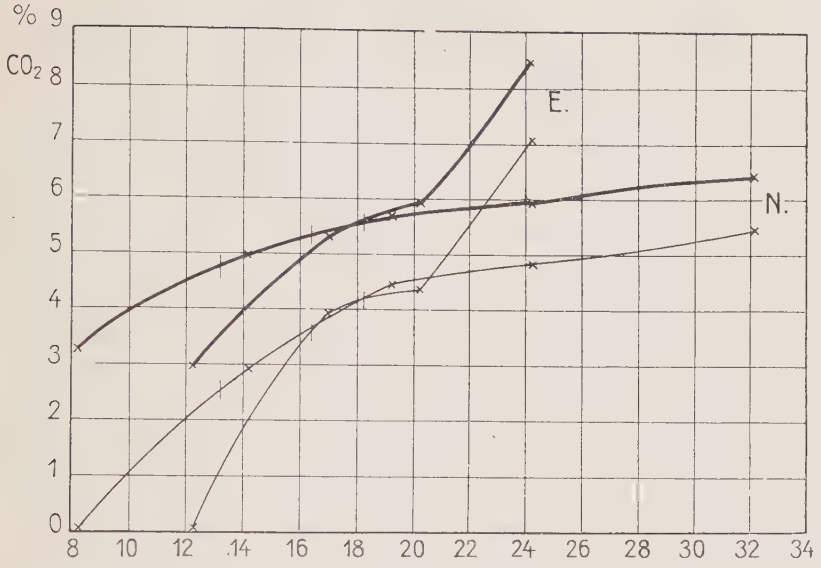
Versuche mit CO_2-haltiger Inspirationsluft.

Die Tabelle II zeigt, in welcher Weise die Atmung durch Einatmung CO_2-haltiger Inspirationsluft beeinflußt wird. Ich habe hier den CO_2-Gehalt der Inspirationsluft angegeben, bei welchem die Atemgröße um 5 l, um 10 l wächst, und bei welchem sie verdoppelt ist. Gleichzeitig sind die zugehörigen CO_2 %-Werte der Exspirationsluft notiert.

Diese Werte sind folgendermaßen gewonnen: Die in Tab. III angegebenen Größen sind in ein Ordinatensystem eingetragen und die gesuchten Werte von den so erhaltenen Kurven abgelesen. Beispielshalber seien hier in Figur 1 zwei beliebige Kurven wiedergegeben, eine Normalkurve und eine Emphysemkurve. Wir sehen schon auf den ersten Blick den Unterschied: bei dem Normalen den langsam ansteigenden flachen Verlauf, bei dem Emphysematiker den steilen Anstieg der Kurve. (Nicht alle Normalkurven verlaufen so flach und nicht alle Emphysemkurven so steil, beim Vergleich ist es etwa so, daß die steilste Normalkurve beinahe der flachsten Emphysemkurve gleichkommt.) Zahlenmäßig finden wir dies in Tab. II ausgedrückt (s. Tab. II).

Die Durchschnittsresultate aus dieser Tabelle ergeben folgendes:

1) Speck, Physiologie d. menschl. Atmens, Leipzig 1892.
2) Geppert, l. c.
3) Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 75 (1912) p. 15.



Atemgröße in Litern.
——— CO_2 %-Gehalt und Atemgröße der Inspiration.
——— CO_2 %-Gehalt und Atemgröße der Exspiration.
N = normal. E = Emphysem.

Die Verdopplung der Atemgröße bei dem Gesunden erfolgt auf einen CO_2-Reiz von 3,76 % in der Inspirationsluft, die Exspirationsluft enthält dabei 5,6 % CO_2. Bei dem Emphysematiker liegen diese Werte weitaus höher und zwar bei 5,6 % der Inspirationsluft und 6,8 % CO_2 der Exspirationsluft. Es ist dies aber erklärlich, weil eine Verdopplung der Atemgröße bei dem Emphysemkranken einen Zuwachs von beinahe 12 l bedeutet, während es bei dem Normalen nur 7,6 l ausmacht. Ich habe deshalb aus den Kurven der Gesunden berechnet, wie der inspiratorische und exspiratorische CO_2 %-Gehalt bei 24 l — dem Durchschnittswert der Verdopplung beim Emphysem — sich verhält, und da zeigt es sich, daß diese Größen fast mit denen des Emphysems übereinstimmen (s. Tab. II).

Um einen Zuwachs der Atemgröße um 5 l, resp. 10 l zu erzielen ist bei dem Emphysematiker ein durchschnittlich höherer CO_2 %-Gehalt der Inspirationsluft nötig als beim Gesunden, — immerhin liegen aber Durchschnitts- wie Minimumwerte innerhalb der normalen Schwankungen, nur die Maximalwerte sind deutlich erhöht.

Tabelle II.

Zunahme der Atemgröße bei Einatmung CO_2-haltiger Inspirationsluft.
(Werte aus Kurven abgelesen.)

I. Gesunde	Zunahme um 5 l bei		Zunahme um 10 l bei		Verdopplung bei		Werte bei 24 l	
	CO_2 % d. Inspir.	CO_2 % d. Exspir.	CO_2 % d. Inspir.	CO_2 % d. Exspir.	CO_2 % d. Inspir.	CO_2 % d. Exspir.	CO_2 % d. Exspir.	CO_2 % d. Inspi
R. R.	3,0	5,2	4,0	5,8	3,8	5,7	4,8	6,2
L.	3,5	5,6	5,2	6,5	4,4	6,1	6,4	7,2
Dr.	2,6	4,8	4,2	5,6	3,7	5,3	4,8	5,9
Ri.	2,7	4,8	3,8	5,2	3,3	5,0	4,6	5,6
Ra.	3,2	5,3	4,7	6,2	3,4	5,5	6,7	7,6
Sch.	3,2	5,0	4,4	5,7	3,8	5,4	—	—
So.	3,6	5,7	4,1	5,9	3,9	5,8	5,0	6,4
M.	3,1	5,6	4,4	6,3	3,8	6,0	5,0	6,6
Mittelwert:	**3,11**	**5,25**	**4,35**	**5,9**	**3,76**	**5,6**	**5,33**	**6,5**
Minimum:	2,6	4,8	3,8	5,2	3,3	5,0	4,8	5,6
Maximum:	3,6	5,7	5,2	6,5	4,4	6,1	6,7	7,6
II. Emphysemkr.								
L.	3,0	4,8	5,1	6,6	6,0	7,5		
H.	2,8	4,6	5,2	6,4	5,8	6,4		
S.	2,8	4,4	3,9	5,1	4,1	5,2		
J.	4,8	6,0	6,4	7,0	6,8	7,6		
R.	3,5	5,4	—	—	—	—		
F.	4,2	6,2	5,1	6,8	5,3	7,3		
Mittelwert:	**3,52**	**5,07**	**5,14**	**6,4**	**5,6**	**6,8**		
Minimum:	2,8	4,4	3,9	5,1	4,1	5,2		
Maximum:	4,8	6,2	6,4	7,0	6,8	7,6		

Es ist nun wichtig, sich über das Verhalten der beiden Komponenten der Atemgröße, Frequenz und Atemzug, kurz zu orientieren (s. Tab. III). Beim Gesunden nimmt die Vertiefung des Atemzuges mit der Zunahme der Atemgröße ganz regelmäßig zu, die Frequenz ist dabei teils unbeeinflußt, teils zeigt sie eine geringe Zunahme. Ein ähnliches Verhalten der Frequenz finden wir auch bei den Emphysematikern; wo eine hohe Anfangsfrequenz vorhanden, tritt sogar zugunsten einer Vertiefung des Atemzuges eine Abnahme der Frequenz ein. Aber abgesehen von den beiden Fällen: S. und F., die eine relativ hohe Vitalkapazität besitzen und wohl deshalb ihren Atemzug ganz analog dem Normalen noch vertiefen können, nimmt bei den Emphysematikern die Größe des Atemzugs viel weniger zu als bei Gesunden. Bei Fall J. z. B. beträgt die Größe des Atemzuges selbst bei einer Atemgröße von 38 l nur 1,3 l.

Für die Beurteilung der Atmung kommt es vor allem darauf an, ob die Zunahme der Atemgröße bei der Inspiration CO_2-haltiger Luft zur Ausscheidung der CO_2 genügt. Nur wenn dies der Fall ist, können wir sagen, daß die Atemregulation der erhöhten Anforderung auch tatsächlich entspricht. Zu diesem Zweck habe ich bei allen Versuchen die absolute CO_2-Ausscheidung berechnet. Für meine Zwecke genügt es, die Differenz von eingeatmetem minus ausgeatmetem CO_2 %-Gehalt mit der dazu gehörigen Atemgröße zu multiplizieren. Es frägt sich nun, ob die CO_2-Ausscheidung bei Einatmung CO_2-haltiger Luft ebenso groß ist wie bei unbeeinflußter Atmung.

Tabelle III zeigt, daß dies bei dem Gesunden tatsächlich der Fall ist, die höchsten Differenzen sind 30—40 ccm; bei höherem CO_2-Gehalt finden wir sogar meist eine Vermehrung der CO_2-Ausschwemmung.

Diese Befunde stehen im Widerspruch mit den Angaben von Speck[1]), der fand, daß die CO_2-Ausscheidung zurückgeht, daß bei ca. 7 % CO_2 in der Inspirationsluft die Exspirationsluft ebenfalls nur 7 % CO_2 enthält, und bei weiterer Steigerung der CO_2-Zufuhr der CO_2-Gehalt der Exspirationsluft hinter dem der Inspirationsluft immer mehr zurückbleibt. — Einen so hohen CO_2-Gehalt in der Inspirationsluft habe ich bei den Gesunden nur zweimal und finde dabei bei dem einen eine Mehrausscheidung, bei dem anderen wenigstens keine Retention.

Bei Emphysematikern finden wir dagegen, daß die absolute CO_2-Ausscheidung bei CO_2-haltiger Inspirationsluft hinter der bei unbeeinflußter Atmung deutlich zurückbleibt (bis auf ganz wenige Ausnahmen).

Wir finden also durch die Untersuchung der Atmung bei erhöhten Anforderungen bei dem Emphysem eine Insufficienz der Atemmechanik.

Fassen wir unsere Resultate kurz zusammen:

1. Der Emphysematiker atmet in der Minute eine um ca 4 l oder 50 % größere Luftmenge als der Gesunde. Die erhöhte Lüftung der Lunge erfolgt durch eine Vermehrung der Frequenz und eine Vertiefung des einzelnen Atemzuges.

2. Der CO_2-Gehalt der Exspirationsluft ist beim Emphysematiker herabgesetzt; mit der gleichen

1) l. c.

Tabelle III. Gesamtübersicht.

A. Gesunde.

Gesunde	Nr.	Atemgröße pro Min.	Frequenz	Volumen des Atemzuges	CO_2 % der Inspiration	CO_2 % der Exspiration	Absol. CO_2-Ausscheidung	Vitalkapazität	Bemerkungen
R. R.									
5. X. 1911	1	8,94	14	0,64	—	4,04	361	4,85	23 Jahre, groß.
	2	9,02	13	0,69	—	3,77	340		V. 1—4. Mehrere Stunden nach dem Essen.
	3	8,93	13	0,69	—	4,35	389		
	4	9,72	14	0,69	—	4,29	417		
	5	8,41	15	0,56	—	3,77	317		V. 5 u. 6. Morgens nüchtern.
	6	8,77	14	0,63	—	4,09	358		
	7	9,51	15	0,63	—	4,46	424		V. 7 u. 8. 1 Stunde nach dem Mittagessen.
	8	9,56	15	0,64	—	4,35	416		
		9,09	14,5	0,64	—	4,15	378		Tagesdurchschnitt.
17. X.	I	8,94	14	0,64	—	4,04	361		unbeeinflußt.
		20,20	18	1,12	4,29	5,97	339		CO_2-Atmung.
		42,20	24	1,76	6,56	7,80	523		durchlaufend.
	II								
25. X.		15,95	19	0,84	3,39	5,71	370		Kein unbeeinflußter Versuch. CO_2-Atmung.
		17,76	16	1,11	3,83	5,70?	332?		
		22,09	16	1,38	4,54	6,04	331		
		36,68	20	1,83	5,62	6,72	404		
	III								
2. XI.		12,95	15	0,86	2,30	4,80	324		Kein unbeeinflußter Versuch. CO_2-Atmung.
		13,43	15	0,90	2,99	5,18	294		
		14,44	15	0,96	3,14	5,32	315		
		29,30	17	1,72	?	6,53	?		

L.								**4,75**	24 Jahre, mittelgroß.
7. III. 1912	I	7,34	19	0,39	—	3,22	236		unbeeinflußt.
		6,11	19	0,32	—	3,35	205		
	1	13,01	17	0,77	4,35	6,08	225		CO_2-Atmung.
	2	19,24	13	1,48	5,60	6,65	202		
	3	24,68	15	1,65	6,61	7,37	188		3 folgte nach 4 durch Verringerung der CO_2.
	4	32,10	15	2,14	7,33	8,23	289		
		9,34	—	—	—	3,27	305		4. und 5.' nach CO_2-Abstellung.
Dr.								**3,70**	19 Jahre, mittelgroß.
5. III. 1912	I	8,35	19	0,44	—	3,25	271		unbeeinflußt.
		8,06	19	0,43	—	3,31	267		
		14,21	21	0,68	2,92	4,94	287		CO_2-Atmung.
		19,28	23	0,84	?	5,68	?		
		24,17	25	0,97	4,83	5,92	263		
		32,11	25	1,29	5,47	6,43	308		
E. R.								**4,08**	21 Jahre, mittelgroß.
7. XI. 1911	I	7,78	16	0,49	—	?	—		unbeeinflußt.
		7,48	18	0,42	—	3,48	260		
		10,52	17	0,60	2,33	4,55	274		CO_2-Atmung.
		12,69	18	0,71	2,97	4,78	230		
		19,91	19	1,05	4,45	5,64	237		
28. XI.	II	6,93	13	0,53	—	3,20	222		unbeeinflußt.
		7,08	14	0,52	—	3,25	230		
		12,89	16	0,81	2,88	4,88	258		CO_2-Atmung.
		17,48	20	0,87	3,48	5,14	290		
		22,17	21	1,06	4,22	5,50	284		
		32,01	22—23	1,42	5,49	6,22	234		

Gesunde	Nr.	Atemgröße pro Min.	Frequenz	Volumen des Atemzuges	CO_2 % der Inspiration	CO_2 % der Exspiration	Absol. CO_2-Ausscheidung	Vitalkapazität	Bemerkungen
Ra.	I	6,02	14—15	0,42	—	—	—	**3,46**	
17. XI. 1911		6,42	14	0,46	—	3,59	231		22 Jahre, klein, unbeeinflußt.
		6,20	14	0,44	—	3,78	235		
		9,69	14—15	0,67	2,42	4,82	233		CO_2-Atmung.
		15,82	17	0,94	4,36	5,95	252		
		20,73	17	1,22	5,33	7,44	437		
		8,4	—	—	—	—	—		6.' nach CO_2-Abstellung.
		6,02	—	—	—	—	—		8.' nach CO_2-Abstellung.
24. XI.	II	5,82	11	0,53	—	3,61	210		unbeeinflußt.
		5,18	9	0,58	—	4,12	213		
		8,69	9	0,97	2,92	5,65	237		CO_2-Atmung.
		10,78	10	1,08	3,26	5,58	250		
		18,38	12	1,53	6,12	7,13	185		
		27,82	15	1 85	7,07	7,72	181		
		11,52	—	—	—	—	—		5.—8.' nach CO_2-Abstellung.
		9,85	—	—	—	3,13	309		10.—13.' nach CO_2-Abstellung.
		9,14	—	—	—	3,15	288		25.—28.' nach CO_2-Abstellung.
Sch.	I	8,50	25	0,34	—	3,04	258	**2,86**	47 Jahre (Dyspepsie) sehr klein, unbeeinflußt, vielleicht etwas überventiliert.
3. X. 1911		8,79	25	0,35	—	2,95	259		
		10,44	25	0,42	2,06	? —	—		
		12,98	21	0,62	3,64	5,20	204		
	II	6,09	19	0,32	—	2,96	180?		unbeeinflußt.
		7,10	21	0,34	—	3,20	227		
		10,86	21	0,56	2,68	4,74	224		CO_2-Atmung.
		16,04	21—22	0,73	4,14	?	—		
		21,38	22	0,93	5,05	6,28	263		
E. So.	I	8,10	11	0,74	—	4,35	352	**4,54**	23 Jahre, groß, unbeeinflußt.
21. VI. 1912		8,52	14	0,61	—	4,13	352		
		13,60	15	0,91	3,17	5,50	317		CO_2-Atmung.
		21,37	18	1,19	4,57	6,06	318		
		24,82	18	1,38	?	6,39	—		
		39,59	21	1,88	6,34	7,13	313		
		8,50	—	—	—	2,82	265		5.—7.' nach CO_2-Abstellung.

A. M.	I	8,32	17	0,49	—	4,00	333	**4,86**	20 Jahre, groß.
19. VI. 1912		7,92	16	0,50	—	3,87	307		
		13,73	17	0,81	3,29	5,68	328		CO_2-Atmung.
		19,44	16	1,23	4,52	6,35	356		
		22,76	18	1,27	4,78	6,30	366		
		32,99	17	1,95	6,19	7,66	485		
		8,50	—	—	—	4,08	332		4.' nach CO_2-Abstellung.

B. Emphysematiker.

Emphysematiker									
Chr. L.	I	11,92	29	0,41	—	2,95	352	**1,60**	47 Jahre, mittelgroß.
13. I. 1912		12,63	30	0,42	—	2,98	376		
nachmittags		16,99	25	0,68	3,91	5,30	336		Emphysem und leichte Bronchitis und Asthma. Thorax lang und starr, runder Rücken.
		20,23	23	0,88	4,34	5,91	318		
		24,17	23	1,05	7,09	8,48	336		
14. I.	II	11,19	29	0,38	—	2,67	299		Ziemliche Atembeschwerden schon bei geringen Anstrengungen.
		10,59	31	0,34	—	2,69	285		
morgens		15,38	29	0,53	2,10	4,13	312		
		20,79	22	0,95	4,67	6,17	312		
		22,40	23	0,98	5,23	6,53	291		
		23,85	22	1,08	5,80	7,13	317		
J. H.	I	11,21	20	0,56	—	2,76	309	**1,87**	58 Jahre, mittelgroß. Thorax flach, nicht sehr starr. Emphysem und noch geringe Bronchitis, früher häufig Asthmaanfälle.
16. II. 1912		*12,36	18	0,69	—	3,15!	389		
		15,73	23	0,68	2,21	4,21	315		
		17,89	25	0,72	4,51	5,87	243		
		*19,81	22	0,90	5,07	6,27	238		* Unterbrechung wegen Hustens. — Bei dem letzten Versuch leichte Kopfschmerzen und Schwindel.
		27,64	25	1,11	7,15	8,04	246		
		13,8	—	—	—	2,57	355		3.' nach CO_2-Abstellung.

Emphysematiker	Nr.	Atemgröße pro Min.	Frequenz	Volumen des Atemzuges	CO_2 % der Inspiration	CO_2 % der Exspiration	Absol. CO_2-Ausscheidung	Vitalkapazität	Bemerkungen
J. V., S.	I	10,79	19	0,57	—	2,68	289	**3,57**	37 Jahre, sehr großer, kräftiger Mann (71 kg). Thorax faßförmig, wenig beweglich, Emphysem — Bronchitis fast abgeheilt. Asthma bronch. geringe Eosinophilie.
27. XII. 1911		10,71	19	0,57	—	2,85	305		
		17,64	18	0,98	3,60	5,08	261		
		22,00	19	1,16	4,21	5,30	240		
		33,67	21	1,60	6,21	6,70	135		
28. XII.	II	11,68	16	0,73	—	2,94	343		
		11,08	17	0,65	—	2,84	315		
		17,45	17	1,03	2,87	4,43	272		
		20,11	18	1,12	3,26	4,65	280		
		24,45	20	1,22	4,00	5,00	245	➳	Dieser Versuch folgte dem letzten nach Verringerung d. CO_2-Zufuhr.
		34,64	19	1,82	5,27	6,12	295		
29. XII.	III	11,41	20	0,57	—	2,61	298		
		10,53	19	0,55	—	2,63	277		
		16,28	19	0,86	3,03	4,59	254		
		19,98	18	1,11	3,74	5,00	252		
		27,77	19	1,46	5,28	5,80	144		
W. J.	I	14,80	29	0,50	—	2,34	346	**2,10**	49 Jahre, mittelgroß, Emphysem und Bronchitis, Asthma bronch., starke Eosinophilie. Thorax: gedrungen, starr, Kyphose der Wirbelsäule.
14. XII. 1911		13,46	27	0,50	—	2,34	315		
		15,06	28	0,54	3,34	4,74	211		
		19,35	29	0,67	4,37	5,60	238		
15. XII.	II	14,33	28	0,51	—	2,73	391		
		14,56	27	0,54	—	2,90	422		
		18,05	25	0,68	4,44	6,00	282		
		*22,06	25—26	0,87	4,58	6,18	353		
		*20,16	27	0,75	3,68	5,39	345		* Kurze Unterbrechung wegen Hustens — erneuter CO_2-Versuch.
		23,61	26	0,91	5,75	6,57	194		
21. XII.	III	13,65	33	0,41	—	2,48	339	➳	Vielleicht noch etwas Nachwirkung vom Treppensteigen, obgleich 12' nach demselben. — Vor d. Versuch 15 Tropfen Codein wegen Hustens.
		11,85	31	0,38	—	2,37	280		
		15,67	27	0,58	3,87	5,43	244		
		17,52	28	0,63	5,46	?	—		
		28,97	26	1,11	7,08	8,01	269.		
		38,40	30	1,28	8,93	9,48	211		

A. Ro. 22. II. 1912	I	11,28 12,62	16 19	0,71 0,66	— —	2,76 2,61	311 329	**1,67**	55 Jahre, mittelgroß nicht sehr kräftig. Emphysem u. Bronchitis.
		13,06	18	0,73	1,94	3,85	249		Herzinsufficienz, geringe Stauungen. Kein Digitalis!
29. II.	II	11,77 11,58	24 25	0,49 0,46	— —	2,74 2,59	323 300	**2,06**	Digitalis. Seit gestern Diurese gut.
		12,84 16,92	23 25	0,56 0,68	2,41 3,71	4,29 5,47	241 298		
2. III.	III	12,23 12,90	25 23	0,49 0,56	— —	2,43 2,52	297 325	**1,45**	Noch gute Diurese, reichlich dünnen, schleimigen Auswurf.
		15,32 20,20	23 24	0,66 0,84	2,76 4,23	4,44 5,61	257 279		
13. III.	IV	12,17 11,84	18 17	0,68 0,70	— —	2,93 3,20	357 379	**1,45**	Bronchitis besser, doch noch reichlich Schleim.
		17,59	22	0,80	3,04	4,91	329		Versuch abgebrochen, weil zu anstrengend.
F. 21. XII. 1911	I	11,19 10,33	19 17	0,59 0,61	— —	4,02 4,10	450 424	**2,65**	36 Jahre, großer, kräftiger Mann. Thorax gewölbt, nicht gut beweglich.
		16,09 20,10 26,12 30,84	17 21 24 25	0,95 0,96 1,09 1,23	4,45 5,00 7,09 9,07	6,87 6,99 8,38 9,92	389 400 337 262		Emphysem, Bronchitis. Asthma bronch. Vor dem Versuch 15 Tropfen Codein.
22. XII.	II	10,93 10,29	20 19	0,55 0,55	— —	3,30 3,24	361 333		Vorher kein Codein.
		13,81 *17,70 25,27 36,17	18 22 19 21	0,78 0,80 1,33 1,72	4,04 4,15 6,63 7,74	5,97 — 7,88 8,51	267 — 316 279		* Unterbrechung wegen Hustens, dann erneute CO_2-Zufuhr, langsam steigend.

Luftmenge atmet der Emphysematiker weniger CO_2 aus als der Gesunde. Dabei ist aber die absolute CO_2-Ausscheidung durchschnittlich höher als bei den Gesunden, vielleicht ein Ausdruck erhöhter Muskelarbeit bei der angestrengten Atmung.

3. Die Vitalkapazität ist herabgesetzt.

4. Bei erhöhter Anforderung an die Atemtätigkeit durch Einatmung CO_2-haltiger Luft ergibt sich eine Insufficienz der Atemmechanik, die ihren Ausdruck in einer ungenügenden CO_2-Ausscheidung findet.

5. Die Vertiefung der Atmung erfolgt durchschnittlich erst bei etwas höherem CO_2-Gehalt der Inspirationsluft. Der einzelne Atemzug erreicht dabei durchschnittlich nicht die Werte des Normalen. Die Frequenz verhält sich dabei ziemlich analog den normalen Werten.

Wir finden also, daß die Atemmechanik beim Lungenemphysem weniger leistungsfähig ist: Schon in Ruhe wird zur Ausscheidung einer bestimmten CO_2-Menge eine größere Luftmenge bewegt als bei Gesunden, und bei CO_2-haltiger Inspirationsluft genügt die Atmung zur Ausscheidung der CO_2 nicht.

Es erübrigt noch zum Schluß mit einigen Worten darauf einzugehen, welche erklärenden Momente wir für diese Ateminsufficienz heranziehen können. Da sind vor allem die verschiedenen pathologischen Veränderungen zu erwähnen, die jeder Volumveränderung bei der Atmung bedeutenden Widerstand leisten können. So vor allem die Thoraxstarre (Freund), die, wie Löschke[1]) an einer Reihe von Leichen nachwies, stets mit einer Kyphose der Brustwirbelsäule verbunden ist und stets zu einer Fixierung des Brustkorbes in einer oben inspiratorischen, nach unten exspiratorischen Stellung führt. Ferner kommen speziell für die Exspiration in Betracht der Elastizitätsverlust des Lungengewebes, destruktive Prozesse, sowie bindegewebige Indurationen. Von großer Bedeutung ist auch die Bronchitis, die namentlich in den feineren Bronchien zu einer Exspirations-Behinderung und Erschwerung führen. Darauf hat vor allem Raither[2]) in seiner Arbeit über das Emphysem aufmerksam gemacht.

Durch alle diese Momente ist die Atmung bedeutend erschwert.

---

1) Deutsche med. Wochenschr. Nr. 20, p. 916, 1911

2) Brauer's Beiträge zur Klinik der Tuberkulose Heft 22 p. 137. 1912.

Die Ventilation der Alveolen ist dadurch viel ungleichmäßiger, wie Siebeck[1]) nachwies. In den schlecht ventilierten Alveolenbezirken kann deshalb auch die Arterialisierung des Bluts nur mangelhaft sein. Dieses ungünstige Verhalten der Alveolenventilation kommt auch zum Ausdruck in dem großen Reduktionsvolumen, (d. h. der funktionell berechneten, dem „schädlichen Raum" nach Zuntz entsprechenden Größe), wie es Siebeck beim Lungenemphysem fand. Damit stimmt unser Befund überein, daß der einzelne Atemzug einen geringeren Effekt für die Ventilation der Lunge hat, daß der CO_2-Gehalt der Exspirationsluft herabgesetzt ist. Wenn man bedenkt, daß der Emphysematiker in der Minute viel schneller atmet, so multipliziert sich dieser schädliche Raum ganz gewaltig schon in einer Minute. Nimmt man nur z. B. vergleichsweise — ohne Anspruch auf quantitative Verwertung —, die Werte von Siebeck, die sogar als Minimumwerte zu betrachten sind, so ergibt sich daraus für den Gesunden ein Reduktionsvolumen von $16 \times 125 = 2{,}00$ Liter pro Minute, für das Lungenemphysem von $23 \times 220 = 5{,}06$ Liter. Danach kann man sich eine ganz gute Vorstellung machen, welche Mehrarbeit der Emphysematiker in der Minute zu leisten hat. —

Alle diese erwähnten Momente können nun für das Entstehen der Dyspnoe beim Lungenemphysem in Betracht kommen, doch was klinisch bei jedem Einzelfall zur Wirkung zusammenkommt, läßt sich natürlich schwer sagen. Neben allen diesen Momenten können außerdem noch — und zwar nicht selten — Insufficienzerscheinungen von seiten des Herzens hinzukommen und die Dyspnoe, namentlich bei körperlicher Anstrengung, bedeutend erhöhen.

1) Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 102, 1911.

Lebenslauf.

Am 10. März 1889 wurde ich, Rudolf Carl Friedrich Ludwig Reinhardt, als Sohn des prakt. Arztes Dr. med. Ludwig Reinhardt (Staatsangehörigkeit: Baden) und seiner Gemahlin, geb. Heß, zu Heidelberg i. B. geboren. Ich wuchs daselbst auf, besuchte $3^1/_2$ Jahre die Volksschule, dann das Gymnasium zu Heidelberg und machte Sommer 1907 das Abitur. Vom 1. Oktober 1907 bis 1. April 1908 diente ich als Einjährig-Freiwilliger in Heidelberg und war gleichzeitig als Student der Medizin an der Universität immatrikuliert, blieb daselbst bis Ende W.-S. 1909/10, um nach bestandenem Physikum für ein Semester die Universität Greifswald und für ein weiteres Semester die Universität München zu besuchen. Alsdann kehrte ich nach Heidelberg zurück, um daselbst die letzten drei Semester meines Studiums zuzubringen und das medizinische Staatsexamen zu absolvieren.

G. Pätz'sche Buchdruckerei
LIPPERT & Co. G. m. b. H.,
::: Naumburg a. d. S. :::